



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 753/92

22 Anmeldungsdatum: 10.03.1992

24 Patent erteilt: 29.07.1994

45 Patentschrift
veröffentlicht: 29.07.1994

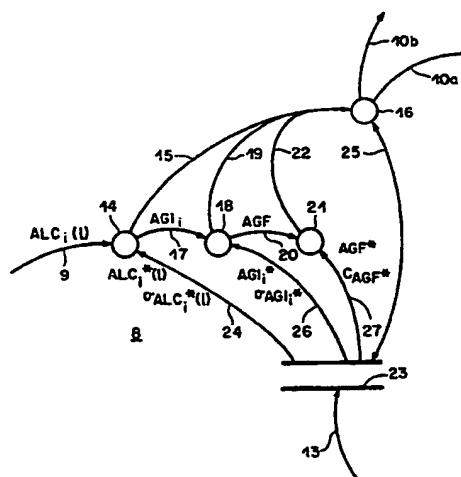
73 Inhaber:
Mars Incorporated, McLean/VA (US)

72 Erfinder:
Baudat, Gaston, Genève
Voser, Christian, Genève

74 Vertreter:
Kirker & Cie SA, Thônex (Genève)

54 Einrichtung zur Klassifizierung eines Musters, insbesondere von einer Banknote oder von einer Münze.

57 Eine Einrichtung zur Klassifizierung eines Musters, insbesondere von einer Banknote oder von einer Münze, weist ein Aufnahmesystem zur messtechnischen Erfassung von Vektoren eines Prüflings, ein Vorverarbeitungssystem zur Transformation der gemessenen Vektoren in lokale Merkmalvektoren $ALC_i(l)$ und ein lernendes Klassifizierungssystem (8) zur Durchführung mehrerer Prüfungen auf. Eine erste Aktivität (14) vergleicht in einer ersten Prüfung jeden der lokalen Merkmalvektoren $ALC_i(l)$ mit einer vektoriellen Sollgrösse. Nur wenn die erste Prüfung erfolgreich verläuft, verknüpft die erste Aktivität mit Hilfe von ersten Schätzungen, welche in einer Datenbasis abgespeichert sind, die lokalen Merkmalvektoren $ALC_i(l)$ zu globalen Zeilen-Merkmalvektoren AGI_i . In einer zweiten Prüfung vergleicht eine dritte Aktivität (18) die globalen Zeilen-Merkmalvektoren AGI_i mit entsprechenden Sollgrößen und berechnet, sofern die zweite Prüfung erfolgreich ist, einen einzigen globalen Flächen-Vektor AGF , von dem eine vierte Aktivität (21) in einer dritten Prüfung dessen Distanz nach Mahalanobis zu einem geschätzten Flächen-Vektor mit einem Sollwert vergleicht. Der Prüfling ist sicher klassifiziert, wenn alle drei Prüfungen erfolgreich verlaufen.



Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Klassifizierung eines Musters, insbesondere von einer Banknote oder von einer Münze, der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art.

5 Solche Einrichtungen werden vorteilhaft in Verkaufsautomaten, Geldwechselautomaten und dergleichen mehr verwendet, wo einerseits nach dem Wert, beispielsweise zwischen Ein-, Zwei- und Fünf-Dollar-Noten, und/oder andererseits zwischen Originalen und Kopien (Fälschungen) klassifiziert wird.

Es ist bekannt, Intensitätswerte einer von Bildpartien eines Prüflings reflektierten elektromagnetischen Strahlung so aufzubereiten, dass der Prüfling mit einer Pixelmatrix (EP 0 067 898 B1) eines Originals
10 verglichen werden kann, oder dass Unterschiede zu einem Original in Form eines Winkels zwischen zwei n-dimensionalen Vektoren (DE 3 040 963 A1) oder als Kreuzkorrelationsfunktion (EP 0 084 137 A2) ausgedrückt und ausgewertet werden.

Es ist auch bekannt (CH 640 433 A5), verschiedene physikalische Messgrößen eines Prüflings mit entsprechenden gespeicherten Grenzwerten jeweils im wesentlichen unabhängig voneinander zu ver-
15 gleichen und nach einer erfolgreichen Klassifizierung die Grenzwerte mit Hilfe der Messgrößen des akzeptierten Prüflings zu verbessern.

Es sind im weiteren verschiedene Ansätze für lernende Klassifikatoren bekannt (H. Niemann: Klassifikation von Mustern – Berlin, Heidelberg, Berlin, Tokyo: Springer 1983), bei denen die Klassenbereiche mit klassifizierten Mustern laufend verändert werden und die bei der Klassifikation einen erheblichen
20 Rechenaufwand erfordern, was bei praktischem Einsatz zu unannehmbaren Antwortzeiten führen kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art derart aufzubauen, dass ein Muster kostengünstig und innerhalb annehmbarer Antwortzeit mit gewünschter Sicherheit klassifiziert werden kann.

Die Erfindung ist im Anspruch 1 gekennzeichnet. Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus
25 den abhängigen Ansprüchen.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert.
Es zeigen:

30 Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Einrichtung zur Klassifizierung eines Musters,
Fig. 2 ein Datenfluss-Diagramm eines Klassifizierungssystems für Banknoten,
Fig. 3 eine Sensorgruppe zur Merkmalgewinnung in einem Aufnahmesystem und
Fig. 4 ein Ablauf-Diagramm der wichtigsten Operationen bei der Klassifizierung.

In der Fig. 1 bedeutet 1 ein Aufnahmesystem, welches im wesentlichen einen Einlass 2 und ein nicht
35 gezeichnetes Transportsystem für einen Prüfling 3 sowie eine Sensorgruppe 4 aufweist, mit der ein Muster des Prüflings 3 gemessen wird. Das Aufnahmesystem 1 ist durch einen Merkmalkanal 5 an einem mindestens eine Vorverarbeitungs-Aktivität 6 aufweisenden Vorverarbeitungssystem 7 angeschlossen. Ein lernendes Klassifizierungssystem 8 ist über einen Eingangskanal 9 mit dem Vorverarbeitungssystem 7 und über einen ersten Ausgangskanal 10a mit einem Dienstleistungssystem 11 verbunden. Das Auf-
40 nahmesystem 1, das Vorverarbeitungssystem 7, das Klassifizierungssystem 8 und das Dienstleistungssystem 11 sind also über Kanäle im wesentlichen zu einer Kaskade geschaltet, die durch das Dienstleistungssystem 11 abgeschlossen ist.

Es ist möglich, dass ein Initialisierungssystem 12 über einen Initialisierungskanal 13 mit dem Klassifizierungssystem 8 verbunden ist.

45 Die Fig. 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Klassifizierungssystems 8 anhand eines Datenflussdiagrammes. In der gewählten, aus der Literatur bekannten Darstellungsart (D. J. Hatley, I. A. Pirbhai: Strategies for Real-Time System Specification, Dorset House, NY 1988) bedeutet ein Kreis eine Aktivität (activity), ein Pfeil einen Kommunikationskanal (channel) zur Übertragung von Daten und/oder Ereignissen, wobei die Pfeilspitze in die wesentliche Datenflussrichtung zeigt. Ein Datenspeicher (pool), der
50 allgemein mehreren Aktivitäten zur Verfügung steht, ist durch zwei gleich lange, parallele Linien dargestellt. Im weiteren ist beispielsweise eine Anordnung aus zwei durch einen Kommunikationskanal verbundene Aktivitäten mit einer einzigen Aktivität, welche alle Aufgaben der beiden Aktivitäten erfüllt, äquivalent.

Jede Aktivität wird in bekannter Art als eine elektronische Schaltung oder softwaremässig als ein Pro-
55 zess, ein Programmstück oder als eine Routine gebaut.

Der Eingangskanal 9 führt zu einer ersten Aktivität 14, welche über einen ersten Kanal 15 mit einer zweiten Aktivität 16 und über einen zweiten Kanal 17 mit einer dritten Aktivität 18 verbunden ist, die ihrerseits über einen dritten Kanal 19 mit der zweiten Aktivität 16 und über einen vierten Kanal 20 mit einer vierten Aktivität 21 verknüpft ist, von der aus ein fünfter Kanal 22 zur zweiten Aktivität 16 führt, wel-
60 che am Ausgangskanal 10a angeschlossen ist. Ein Datenspeicher 23, der eine Datenbasis des Klassifizierungssystems 8 enthält, ist über einen sechsten Kanal 24 mit der ersten Aktivität 14, über einen siebten Kanal 25 mit der zweiten Aktivität 16, über einen achten Kanal 26 mit der dritten Aktivität 18, über einen neunten Kanal 27 mit der vierten Aktivität 21 und mit dem Initialisierungskanal 13 verbunden.

65 In der Fig. 3 weist ein Sensor 4.1, 4.2 bis 4.N der aus einer Anzahl N Sensoren bestehenden Sen-

sorgruppe 4 eine Anzahl M Merkmalausgänge 4.1.1, 4.1.2 bis 4.1.M bzw. 4.2.1, 4.2.2 bis 4.2.M bzw. 4.N.1, 4.N.2 bis 4.N.M auf. Die Anzahl N sowie die Anzahl M sind voneinander unabhängig und frei wählbar. Beispielsweise sind die Anzahl N und die Anzahl M drei.

Der Prüfling 3 – im Beispiel eine Banknote – wird am Einlass 2 (Fig. 1) dem Transportsystem übergeben, das den Prüfling 3 zwecks einer Messwertaufnahme an der Sensorgruppe 4 vorbeiführt, welche das Muster des Prüflings 3 in bekannter Art zu diskreten Zeitpunkten I misst. Mit Vorteil sind die Sensoren 4.1 bis 4.N parallel zur Transportebene des Prüflings 3 und senkrecht zu dessen Transportrichtung nebeneinander angeordnet, so dass eine Anzahl N paralleler Spuren des Prüflings 3 messbar sind, wobei jeder der Sensoren 4.1 bis 4.N jeweils M verschiedene Merkmale misst. Als Muster gilt die Gesamtheit der Werte $mc(i)$ mindestens einer Reihe von einem physikalischen Merkmal des Prüflings 3. Im Beispiel besteht das Muster aus der Anzahl N Reihen mit je einer Anzahl L Werten, wobei jede Reihe die Anzahl M Merkmale umfasst. Die Anzahl L für die beobachtete Länge des Prüflings ist durch die für die Messung gewählte Abtastrate mit den Zeitpunkten I und die gewählte Geschwindigkeit des Prüflings 3 im Transportsystem gegeben und beträgt im Beispiel dreizehn oder vierundzwanzig.

An jedem Sensor 4.1 bzw. 4.2 bzw. 4.N (Fig. 3) sind zu den Zeitpunkten I die Werte der Merkmale $mc1(i)$ bzw. $mc2(i)$ bzw. $mcN(i)$ an den Merkmalausgängen 4.1.1 bis 4.1.M bzw. 4.2.1 bis 4.2.M bzw. 4.N.1 bis 4.N.M verfügbar. Die Zeitpunkte I sind von 1 bis L numeriert.

Ist der Prüfling eine Lit- oder eine US\$-Note, misst der Sensor 4.1 bzw. 4.2 bzw. 4.N für eine sichere Klassifizierung mit Vorteil die Intensitätswerte einer von Bildpartien des mit mindestens einer Lichtquelle angestrahlten Prüflings reflektierten elektromagnetischen Strahlung zu jedem Zeitpunkt I – bzw. an der Position I des Prüflings bezogen auf die Sensorgruppe 4 – in den drei Spektralbereichen Grün, Rot und Infrarot. Damit liegen beispielsweise Intensitätswerte von Grün an den Merkmalausgängen 4.1.1, 4.2.1 und 4.N.1 sowie Intensitätswerte von Rot an den Merkmalausgängen 4.1.2, 4.2.2 und 4.N.2 und von Infrarot an den Merkmalausgängen 4.1.3, 4.2.3 und 4.N.3.

Auf Wunsch kann die Sensorgruppe 4 auch andere – beispielsweise magnetische oder akustische – Sensoren aufweisen. Falls eine Münze geprüft wird, kann ihr Muster auch aus den Schallpegeln gesuchter Frequenzen (anstelle der Positionen I) des Klangspektrums sein, welches sich bei einem Aufprall der Münze ergibt.

Die zu den Zeitpunkten I ($i = 1 \dots L$) vom Sensor 4.1 bzw. 4.2 bzw. 4.N erfassten Werte der physikalischen Merkmale sind zur weiteren Verarbeitung als ein gemessener Vektor $mc1(i)$ bzw. $mc2(i)$ bzw. $mcN(i)$ gruppiert. Dabei weist jeder der gemessenen Vektoren die Anzahl M Komponenten auf, bzw. die Dimension der gemessenen Vektoren $mc(i)$ ist M. Damit sind die gemessenen Vektoren wie folgt definiert:

$$(mc(i))^T = (mc1(i), mc2(i) \dots mcM(i)) \text{ mit } i = 1 \dots N \text{ und } l = 1 \dots L \quad (G1)$$

Einer bequemerem Darstellung wegen wird in der Definition (G1) der gemessene Vektor $mc(i)$ transponiert, d. h. als Zeilenvektor geschrieben. Der hochgestellte Buchstabe T beim Namen eines Vektors weist in der Definition (G1) wie auch im folgenden auf eine transponierte Darstellung des Vektors hin.

Die gemessenen Vektoren $mc(i)$ werden vom Aufnahmesystem 1 (Fig. 1) über den Merkmalkanal 5 dem Vorverarbeitungssystem 7 übergeben, worauf die Vorverarbeitungsaktivität 6 aus den gemessenen Vektoren $mc(i)$ durch Transformationen F_i lokale Merkmalvektoren $ALCi(i)$ bildet. Eine Transformation F_i ist linear oder nicht linear. Die Dimension K der lokalen Merkmalvektoren $ALCi(i)$ ist gleich oder verschieden von der Dimension M der gemessenen Vektoren $mc(i)$. Es gilt:

$$ALCi(i) = F_i\{mc(i)\}, \text{ wobei } i = 1 \dots N \quad (G2)$$

$$(ALCi(i))^T = (ALC1(i), ALC2(i), \dots, ALCM(i)) \text{ wobei } K = M \text{ oder } K \neq M \quad (G3)$$

Zugunsten einer bequemerem Darstellung wird in der Definition (G3) der lokale Merkmalvektor $ALCi(i)$ transponiert, d.h. als Zeilenvektor geschrieben.

Eine der Transformationen F_i ist beispielsweise eine Normalisierung eines Spektralbereichs und kann für die erste Komponente von $ALC2(i)$ lauten:

$$ALC2_1(1) = \frac{mc2_1(1)}{\sum_{j=1}^M mc2_j(1)} \quad (G4)$$

Wenn der Prüfling 3 z.B. eine Lit- oder US\$-Note ist und jeder der gemessenen Vektoren $mci(l)$ eine Komponente für den Spektralbereich Grün, eine für den Spektralbereich Rot und eine für den Spektralbereich Infrarot aufweist, wobei beispielsweise den ersten Komponenten $mci_1(l)$ ein Intensitätswert des Spektralbereichs Grün, den zweiten Komponenten $mci_2(l)$ ein Intensitätswert des Spektralbereichs Rot und den dritten Komponenten $mci_3(l)$ ein Intensitätswert des Spektralbereichs Infrarot zugeordnet ist, so werden die gemessenen Vektoren $mci(l)$ für eine sichere Klassifizierung mit Vorteil wie folgt in lokale Merkmalvektoren $ALCi(l)$ transformiert:

Eine Komponente, z.B. diejenige mit dem Index eins, jedes lokalen Merkmalvektors $ALCi(l)$ enthält die Helligkeit des Sensors 4.i, für i im Bereich von 1..N, zum Zeitpunkt l, für l im Bereich von 1 .. L als Summe aller Intensitätswerte der gemessenen Spektren:

$$ALCi_1(l) = mci_1(l) + mci_2(l) + mci_3(l) \quad (G5)$$

Eine weitere Komponente, z.B. diejenige mit dem Index zwei, enthält den normalisierten Intensitätswert des Spektralbereichs Grün des Sensors 4.i zum Zeitpunkt 1:

$$ALCi_2(l) = \frac{mci_1(l)}{mci_1(l) + mci_2(l) + mci_3(l)} \quad (G6)$$

Eine dritte Komponente, z.B. diejenige mit dem Index drei, enthält den normalisierten Intensitätswert des Spektralbereichs Rot des Sensors 4.i zum Zeitpunkt 1:

$$ALCi_3(l) = \frac{mci_2(l)}{mci_1(l) + mci_2(l) + mci_3(l)} \quad (G7)$$

Eine vierte Komponente, z.B. diejenige mit dem Index vier, enthält den über die Spur des Sensors 4.i normalisierten Intensitätswert des Spektralbereichs Grün zum Zeitpunkt 1:

$$ALCi_4(l) = \frac{mci_1(l)}{1 \cdot L \cdot \sum_{j=1}^L mci_j} \quad (G8)$$

Eine fünfte Komponente, z.B. diejenige mit dem Index fünf, enthält den über die Spur des Sensors 4.i normalisierten Intensitätswert des Spektralbereichs Infrarot zum Zeitpunkt 1:

$$ALCi_5(l) = \frac{mci_3(l)}{1 \cdot L \cdot \sum_{j=1}^L mci_j} \quad (G9)$$

Die Gesamtheit der lokalen Merkmalvektoren $ALCi(l)$ – das sind $N \cdot L$ Vektoren – werden vom Vorverarbeitungssystem 7 über den Eingangskanal 9 dem Klassifizierungssystem 8 übermittelt, welches die Klassifizierung des Prüflings 3 mit Hilfe von mehreren Prüfungen und weiteren Transformationen vornimmt.

5 In der folgenden Beschreibung der Funktionsweise des Klassifizierungssystems 8 wird von einem Spezialfall ausgegangen, in welchem geprüft wird, ob der Prüfling 3 zu genau einer bestimmten Zielklasse gehört oder nicht. Alle hier interessierenden Klassifizierungsprobleme sind in Einzelfälle aufteilbar, bei denen der Prüfling 3 jeweils mit genau einer Zielklasse überprüft wird, was dem beschriebenen Spezialfall entspricht. Die beschriebene Klassifizierung wird dabei bei Bedarf für jede der möglichen Zielklassen durchgeführt, was in bekannter Art von einem einzigen Klassifizierungssystem 8 in einer Schleife (loop) oder, falls das Klassifizierungssystem 8 mehrere Instanzen aufweist, gleichzeitig parallel (concurrent) ausführbar ist, wobei die Überprüfung sofort abgebrochen werden kann, wenn die Klasse des Prüflings 3 feststeht, spätestens aber abgebrochen wird, wenn der Prüfling mit allen Zielklassen verglichen worden ist.

15 Die erste Aktivität 14 (Fig. 2) vergleicht in einer ersten Prüfung jede Instanz der mit einem Operator $\Phi\}$ transformierten lokalen Merkmalvektoren $ALCi(l)$ mit einer vordefinierten zugehörigen vektoriellen Sollgrösse $QALCi(l)$. Alle der $N \cdot L$ vektoriellen Sollgrössen $QALCi(l)$ haben die gleiche Dimension K wie die lokalen Merkmalvektoren $ALCi(l)$ und nur reelle, positive Komponenten. Die erste Prüfung ist dann und nur dann erfolgreich erfüllt (wahr), wenn für alle $N \cdot L$ lokalen Merkmalvektoren $ALCi(l)$ die folgende Boolesche Aussage wahr ist:

$$\Phi\{ALCi(l)\} \leq QALCi(l) \quad (G10)$$

was heisst, dass jede der K Komponenten des transformierten Vektors $\Phi\{ALCi(l)\}$ kleiner oder gleich der entsprechenden Komponente der vektoriellen Sollgrösse $QALCi(l)$ ist.

25 Die in der Booleschen Aussage (G10) verwendete Transformation mit dem Operator $\Phi\}$ ist mit Hilfe von ersten vektoriellen Schätzungen (estimate) $ALCi^*(l)$ eines Mittels der lokalen Merkmalvektoren $ALCi$ sowie zweiten vektoriellen Schätzungen $\sigma_{ALCi^*}(l)$, einer Streuungsart der lokalen Merkmalvektoren $ALCi(l)$, wie folgt definiert ist:

$$\begin{aligned} & \left(\Phi\{ALCi(l)\} \right)^T = \left(\frac{|ALCi_1(l) - ALCi^*_1(l)|}{|\sigma_{ALCi^*_1}(l)|}, \right. \\ & \left. \frac{|ALCi_2(l) - ALCi^*_2(l)|}{|\sigma_{ALCi^*_2}(l)|}, \dots, \frac{|ALCi_K(l) - ALCi^*_K(l)|}{|\sigma_{ALCi^*_K}(l)|} \right) \end{aligned} \quad (G11)$$

Zugunsten einer bequemereren Darstellung wird in der Definition (G11) der durch die Transformation $\Phi\}$ resultierende Vektor der Dimension K transponiert, d.h. als Zeilenvektor geschrieben.

50 Die ersten vektoriellen Schätzungen $ALCi^*(l)$ sowie die zweiten vektoriellen Schätzungen $\sigma_{ALCi^*}(l)$ sind von der Dimension K und in der Datenbasis im Datenspeicher 23 abgelegt, welche über den sechsten Kanal 24 für die erste Aktivität 14 zugänglich ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Schätzungen $ALCi^*(l)$ bzw. $\sigma_{ALCi^*}(l)$ vom Initialisierungssystem 12 über den Initialisierungskanal 13 initialisiert.

55 Die erste Aktivität 14 übermittelt der zweiten Aktivität 16 über den ersten Kanal 15 das Resultat der ersten Prüfung und berechnet, falls die erste Prüfung erfolgreich ist, aus den $N \cdot L$ lokalen Merkmalvektoren $ALCi(l)$ einen Satz mit der Anzahl N globaler Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ der gleichen Dimension K .

60 Ein die Streuung ausdrückender globaler Zeilen-Merkmalvektor $AGli$ geht aus der Anwendung eines Operators $EA\}$ auf alle K Komponenten des entsprechenden lokalen Merkmalvektors $ALCi(l)$ hervor:

$$(AGli)^T = (EA\{ALCi_1(l)\}, EA\{ALCi_2(l)\}, \dots, EA\{ALCi_K(l)\}) \quad (G12)$$

wobei der Operator $EA\{\}$ wie folgt definiert ist:

$$EA\{ALCi_j(1)\} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L \frac{|ALCi_j(1) - ALCi^*_j(1)|}{|\sigma_{ALCi^*_j(1)}|} \quad (G13)$$

Einer bequemerem Darstellung wegen wird in der Definition (G12) der Zeilen-Merkmalvektor $AGli$ transponiert, d.h. als Zeilenvektor geschrieben. Der Index j liegt im Bereich 1 bis K .

Die N Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ werden über den zweiten Kanal 17 der dritten Aktivität 18 übergeben, welche in einer zweiten Prüfung jeden der mit einem Operator $\Omega\{\}$ transformierten globalen Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ mit einer vordefinierten zugehörigen vektoriellen Sollgrösse $QAGli$ vergleicht. Alle der N vektoriellen Sollgrössen $QAGli$ haben die gleiche Dimension K wie die Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ und nur reelle, positive Komponenten. Die zweite Prüfung ist dann und nur dann erfolgreich erfüllt (wahr), wenn für alle N globalen Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ die folgende Boolesche Aussage wahr ist:

$$\Omega\{AGli\} \leq QAGli \quad (G14)$$

was heisst, dass jede der K Komponenten des transformierten Vektors $\Omega\{AGli\}$ kleiner oder gleich der entsprechenden Komponente der vektoriellen Sollgrösse $QAGli$ ist.

Die in der Booleschen Aussage (G14) verwendete Transformation mit dem Operator $\Omega\{\}$ ist mit Hilfe von dritten vektoriellen Schätzungen (estimate) $AGli^*$ eines Mittels der globalen Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ sowie vierten vektoriellen Schätzungen σ_{AGli^*} , einer Streuungsart der globalen Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$, wie folgt definiert ist:

$$\begin{aligned} (\Omega\{AGli\})^T = & \left(\frac{|AGli_1 - AGli^*_1|}{|\sigma_{AGli^*_1}|}, \right. \\ & \left. \frac{|AGli_2 - AGli^*_2|}{|\sigma_{AGli^*_2}|}, \dots, \frac{|AGli_K - AGli^*_K|}{|\sigma_{AGli^*_K}|} \right) \end{aligned} \quad (G15)$$

Zugunsten einer bequemerem Darstellung wird in der Definition (G15) der durch die Transformation $\Omega\{\}$ resultierende Vektor der Dimension K transponiert, d.h. als Zeilenvektor geschrieben.

Die dritten vektoriellen Schätzungen $AGli^*$ sowie die vierten vektoriellen Schätzungen σ_{AGli^*} sind von der Dimension K und in der über den achten Kanal 26 für die dritte Aktivität 18 zugänglichen Datenbasis im Datenspeicher 23 abgelegt.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Schätzungen $AGli^*$ bzw. σ_{AGli^*} vom Initialisierungssystem 12 über den Initialisierungskanal 13 initialisiert.

Die dritte Aktivität 18 übermittelt der zweiten Aktivität 16 über den dritten Kanal 19 das Resultat der zweiten Prüfung und berechnet, falls die zweite Prüfung erfolgreich ist, aus den N globalen Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ einen einzigen globalen Flächen-Merkmalvektor AGF der gleichen Dimension K nach der folgenden Formel:

$$AGF = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N AGI_i \quad (G16)$$

Die dritte Aktivität 18 übergibt den Flächen-Merkmalvektor AGF über den vierten Kanal 20 der vierten Aktivität 21, welche die in der Literatur bekannte Distanz d^2 von Mahalanobis zwischen dem Flächen-Merkmalvektor AGF und einer fünften vektoriellen gemittelten Schätzung AGF^* des Flächen-Merkmalvektors AGF berechnet und in einer dritten Prüfung die berechnete Distanz d^2 mit einem skalaren Sollwert Q_a^2 vergleicht. Die skalare und reelle Distanz d^2 ist mit Hilfe einer Kovarianz-Matrix C_{AGF^*} wie folgt definiert:

$$d^2 = (AGF - AGF^*)^T \cdot (C_{AGF^*})^{-1} \cdot (AGF - AGF^*) \quad (G17)$$

wobei die Kovarianz-Matrix C_{AGF^*} mit der Dimension $K \cdot K$ quadratisch und diagonalsymmetrisch aufgebaut ist, so dass $C_{AGF^*m,n} = C_{AGF^*n,m}$ mit $m < n$ gilt. Die Kovarianz-Matrix weist nur reelle Elemente auf, welche in der Diagonalen $m = n$ Schätzungen $(\sigma_{AGF^*m})^2$ der nach bekannter Art definierten Varianzen der Komponenten AGF_m des Flächen-Merkmalvektors AGF und daneben Schätzungen $COV^*_{m,n}$ der nach bekannter Vorschrift berechenbaren Kovarianzen zwischen ersten Komponenten AGF_m und zweiten Komponenten AGF_n sind:

$$C_{AGF^*} = \begin{vmatrix} (\sigma_{AGF^*1})^2 & COV^*_{1,2} & \dots & COV^*_{1,K} \\ COV^*_{2,1} & & & . \\ . & & & . \\ . & & & . \\ COV^*_{K,1} & \dots & & (\sigma_{AGF^*K})^2 \end{vmatrix} \quad (G18)$$

Die Kovarianz-Matrix C_{AGF^*} sowie die fünfte Schätzung AGF^* sind in der Datenbasis im Datenspeicher 23 abgelegt, welche für die vierte Aktivität 21 über den neunten Kanal 27 verfügbar ist. Mit Vorteil werden die Kovarianz-Matrix C_{AGF^*} sowie die Schätzung AGF^* vom Initialisierungssystem 12 über den Initialisierungskanal 13 initialisiert.

Die dritte Prüfung ist erfolgreich erfüllt (wahr), wenn die folgende Boolesche Aussage wahr ist:

$$d^2 \leq Q_a^2 \quad (G19)$$

Das Resultat der dritten Prüfung wird der zweiten Aktivität 16 über den fünften Kanal 22 übergeben.

Die zweite Aktivität 16 wertet die Resultate der drei Prüfungen aus und übermittelt das Ergebnis über einen zweiten, mit dem Aufnahmesystem verbundenen Ausgangskanal 10b dem Aufnahmesystem 1, welches den Prüfling 3 darauf hin entweder einer Kasse übergibt oder zurückweist. Nur wenn die erste Prüfung sowie die zweite Prüfung und auch die dritte Prüfung erfolgreich sind, steht die zugehörige Zielklasse des Prüflings 3 sicher fest, was die zweite Aktivität dem Dienstleistungssystem 11 über den ersten Ausgangskanal 10a – vorzugsweise durch Übermitteln der festgestellten Klasse des Prüflings – mitteilt, worauf das Dienstleistungssystem 11 eine Dienstleistung ausführen kann.

Nur falls die Zielklasse des Prüflings 3 sicher feststeht, werden alle zur Zielklasse gehörenden Schätzungen auf der Basis der gemessenen Vektoren $mc_i(l)$ des aktuellen Prüflings 3 von der zweiten Aktivität 16 neu berechnet und in der Datenbasis aktualisiert.

Mit Hilfe eines Gewichtungsfaktors p , wobei $p \geq 0$ gilt, werden die neuen, mit einem Index t bezeichneten Schätzungen aus den entsprechenden alten Schätzungen, welche mit einem Index $t-1$ bezeichnet sind, und dem entsprechenden aktuellen Merkmalvektor des Prüflings in bekannter Art wie folgt berechnet:

$$ALCi^*(l)_t = (p \cdot ALCi^*(l)_{t-1} + ALCi(l)) / (p+1) \quad (G20)$$

$$AGIi^*_t = (p \cdot AGIi^*_{t-1} + AGIi) / (p+1) \quad (G21)$$

$$AGF^*_t = (p \cdot AGF^*_{t-1} + AGF) / (p+1) \quad (G21a)$$

$$\text{COV}^*_{(m,n)t} = \frac{p \cdot \text{COV}^*_{(m,n)t-1} + (\text{AGF}_m \cdot \text{AGF}^*_{(m)t-1})(\text{AGF}_n \cdot \text{AGF}^*_{(n)t-1})}{p+1} \quad (\text{G22})$$

Unter Beibehaltung guter Klassifizierungseigenschaften gelingt eine wesentliche Zeitersparnis, indem neue Schätzungen von Streuungen nur näherungsweise und auf folgende Art berechnet werden:

$$\sigma_{\text{ALCi}}^*(l)_t = \frac{p \cdot \sigma_{\text{ALCi}}^*(l)_{t-1} + (\pi/2)^{1/2} \cdot |\text{ALCi}(l) - \text{ALCi}^*(l)_{t-1}|}{p+1} \quad (\text{G23})$$

$$\sigma_{\text{AGIi}}^*_{t-1} = \frac{p \cdot \sigma_{\text{AGIi}}^*_{t-1} + (\pi/2)^{1/2} \cdot |\text{AGIi} - \text{AGIi}^*_{t-1}|}{p+1} \quad (\text{G24})$$

Der Gewichtungsfaktor p hat im allgemeinen in den Gleichungen (G20), (G21), (G21a), (G22), (G23) und (G24) je einen anderen aktuellen Wert.

Statt wie in bekannter Art die Quadratwurzel aus der Differenz der beiden quadrierten Beträge zweier Vektoren zu berechnen, wird in der Formel (G23) bzw. (G24) zur Berechnung der neuen Schätzung $\sigma_{\text{ALCi}}^*(l)_t$ bzw. σ_{AGIi}^* der Betrag der Differenz zweier Vektoren mit dem Faktor $(\pi/2)^{1/2}$ multipliziert, was den Aufwand bei der grossen Anzahl neuer Schätzungen, welche nach jeder erfolgreichen Klassifizierung berechnet werden, entscheidend verringert. Bei gleichen Voraussetzungen wird beispielsweise die Rechenzeit für die beschriebene Aktualisierung der Schätzungen zehnmal verkleinert.

Das Ablauf-Diagramm in der Fig. 4 zeigt die wichtigsten Operationen, welche vom Klassifizierungssystem 8 für den Prüfling zu jeder der Zielklassen je nach Verlauf der Klassifizierung notwendigerweise zwischen einem Anfang 28 und einem Ende 29 ausgeführt oder übersprungen werden.

Anschliessend an den Anfang folgt nach einer ersten Verzweigung 30 entweder ein Aktionsblock 31 oder ein erster Berechnungsblock 32, dem eine zweite Verzweigung 33 folgt. Die zweite Verzweigung 33 führt entweder zum Aktionsblock 31 oder zu einem zweiten Berechnungsblock 34, dem sich eine dritte Verzweigung 35 anschliesst, deren Nachfolger der Aktionsblock 31 oder ein dritter Berechnungsblock 36 ist, der wie der Aktionsblock 31 mit dem Ende 29 abgeschlossen ist.

Für die erste Verzweigung 30 ist die erste Prüfung entscheidend; nur wenn die dazugehörige Boolesche Aussage (G10) wahr ist, werden im ersten Berechnungsblock 32 nach der Formel (G12) aus den N-L lokalen Merkmalvektoren $\text{ALCi}(l)$ die N Zeilen-Merkmalvektoren AGIi berechnet, andernfalls ist die Klassifizierung nicht mehr möglich, so dass sie mit dem Aktionsblock 31 abgeschlossen wird. Die zweite Verzweigung 33 wird durch die zweite Prüfung gesteuert. Nur falls ihre Boolesche Aussage (G14) wahr ist, wird im zweiten Berechnungsblock 34 nach der Formel (G16) aus den N globalen Zeilen-Merkmalvektoren ein einziger globaler Flächen-Merkmalvektor AGF berechnet, ansonst wird die damit erfolglose Klassifizierung mit dem Aktionsblock 31 beendet. Die dritte Verzweigung ist durch die dritte Prüfung bestimmt, wonach bei wahrer Boolescher Aussage (G19) der dritte Berechnungsblock 36 und sonst der Aktionsblock 31 ausgeführt wird.

Im Ablauf-Diagramm ist leicht ersichtlich, dass einerseits der dritte Berechnungsblock 36 nur dann ausgeführt wird, wenn die erste, sowie die zweite und auch noch die dritte Prüfung erfolgreich ist. Andererseits wird die Klassifizierung durch den Aktionsblock 31 beendet, sobald eine der drei Prüfungen nicht erfolgreich durchführbar ist.

Im dritten Berechnungsblock 36 wird die erfolgreiche Klassifizierung dem Dienstleistungssystem 11 übermittelt und die Datenbasis mit neuen Schätzungen für $\text{ALCi}^*(l)$ nach der Formel (G20), für AGIi^*

nach der Formel (G21), für AGF^* nach der Formel (G21a), für $Cov^*(m,n)$ nach der Formel (G22), für $\sigma_{ALCi}^*(l)$ nach der Formel (G23) und für σ_{AGli}^* nach der Formel (G24) aktualisiert.

In eine Anweisung des Aktionsblocks 31 wird nötigenfalls dem Aufnahmesystem 1 die erfolglose Klassifizierung signalisiert.

- 5 Das beschriebene Klassifizierungssystem 8 ermöglicht durch die drei Prüfungen, von denen jede mit unterschiedlich verknüpften Merkmalen des Prüflings (3) durchgeführt wird, eine sichere Klassifizierung. Dadurch, dass viele physikalische Merkmale des Prüflings erfasst und miteinander verknüpft werden, verliert eine problematische und teure Auswahl von signifikanten Merkmalen an Bedeutung.

- 10 Auf Wunsch kann das Klassifizierungssystem weitere Prüfungen wie beispielsweise eine Prüfung der Länge oder der Breite des Prüflings 3 auswerten.

Patentansprüche

- 15 1. Einrichtung aus einem Aufnahmesystem (1), einem Vorverarbeitungssystem (7) und einem eine Datenbasis aufweisenden, lernenden Klassifizierungssystem (8) zur Klassifizierung eines Musters, insbesondere von einer Banknote oder von einer Münze, anhand der Werte von physikalischen Merkmalen, die vom Aufnahmesystem (1) geliefert werden, wobei das Aufnahmesystem (1), das Vorverarbeitungssystem (7) und das Klassifizierungssystem (8) in der Reihenfolge der Aufzählung im wesentlichen zu einer Kaskade geschaltet sind, an deren Ausgang ein Dienstleistungssystem (11) angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet,

[a] dass das Vorverarbeitungssystem (7)

[a.a] eine Vorverarbeitungs-Aktivität (6) aufweist, welche die Werte der physikalischen Merkmale in mehrere lokale Merkmalvektoren $ALCi(l)$ transformiert,

[b] dass das Klassifizierungssystem (8) mehrere auf die Datenbasis zugreifende Aktivitäten (14; 16; 18; 21) aufweist, von denen

- 25 [b.a] eine erste Aktivität (14)

[b.a.a] in einer ersten Prüfung für jede Instanz der mit einem Operator $\Phi\}$ transformierten lokalen Merkmalvektoren $ALCi(l)$ einen Vergleich mit einer vektoriellen Sollgrösse $Q_{ALCi}(l)$ ausführt und

[b.a.b] das Resultat der ersten Prüfung einer zweiten Aktivität (16) über einen ersten Datenkanal (15), der von der ersten Aktivität (14) zur zweiten Aktivität (16) führt, mitteilt sowie

- 30 [b.a.c] aus den Instanzen jedes lokalen Merkmalvektors $ALCi(l)$ mit Hilfe der Instanzen einer in der Datenbasis abgespeicherten zugehörigen ersten vektoriellen Schätzung $ALCi^*(l)$ und einer in der Datenbasis abgespeicherten zugehörigen zweiten vektoriellen Schätzung $\sigma_{ALCi}^*(l)$ einen globalen Zeilen-Merkmalvektor $AGli$ berechnet, wonach nur bei erfolgreich erfüllter ersten Prüfung

- 35 [b.b] alle globalen Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ einer dritten Aktivität (18) über einen zweiten Datenkanal (17), der von der ersten Aktivität (14) zur dritten Aktivität (18) führt, übergeben werden,

[b.c] dass die dritte Aktivität (18)

[b.c.a] in einer zweiten Prüfung für jeden mit einem eine – dritte vektorielle Schätzung $AGli^*$ und eine vierte vektorielle Schätzung σ_{AGli}^* benutzenden – Operator $\Omega\}$ transformierten globalen Zeilen-Merkmalvektor $AGli$ einen Vergleich mit einer weiteren vektoriellen Sollgrösse Q_{AGli} ausführt und

- 40 [b.c.b] das Resultat der zweiten Prüfung der zweiten Aktivität (16) über einen dritten Datenkanal (19), der von der dritten Aktivität (18) zur zweiten Aktivität (16) führt, mitteilt sowie

[b.c.c] aus den globalen Zeilen-Merkmalvektoren $AGli$ einen einzigen globalen Flächen-Merkmalvektor AGF berechnet, wonach nur bei erfolgreich erfüllter zweiter Prüfung

- 45 [b.d] der globale Flächen-Merkmalvektor AGF einer vierten Aktivität (21) über einen vierten Datenkanal (20), der von der dritten Aktivität (18) zur vierten Aktivität (21) führt, übergeben wird,

[b.e] dass die vierte Aktivität (21)

[b.e.a] die Distanz d^2 nach Mahalanobis zwischen dem globalen Flächen-Merkmalvektor AGF und einer in der Datenbasis abgespeicherten fünften vektoriellen Schätzung AGF^* mit Hilfe einer Kovarianz-Matrix C_{AGF}^* berechnet und

- 50 [b.e.b] in einer dritten Prüfung einen Vergleich mit einer Sollgrösse d_{max}^2 durchführt und

[b.e.c] das Resultat der dritten Prüfung der zweiten Aktivität (16) über einen fünften Datenkanal (22), der von der vierten Aktivität (21) zur zweiten Aktivität (16) führt, mitteilt,

[b.f] dass die zweite Aktivität (16) nur, falls alle drei Prüfungen erfolgreich erfüllt sind,

- 55 [b.f.a] einerseits

[b.f.a.a] neue erste Schätzungen $ALCi^*(l)$,

[b.f.a.b] neue zweite Schätzungen $\sigma_{ALCi}^*(l)$,

[b.f.a.c] neue dritte Schätzungen $AGli^*$,

[b.f.a.d] neue vierte Schätzungen σ_{AGli}^* und

- 60 [b.f.a.e] eine neue fünfte Schätzung AGF^* sowie

[b.f.a.f] eine neue Kovarianz-Matrix C_{AGF}^* berechnet und damit

[b.f.b] die Datenbasis aktualisiert und

[b.f.c] andererseits dem Dienstleistungssystem (11) die ermittelte Klasse des Prüflings mitteilt.

- 65 2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der von der ersten Aktivität (14) für die erste Prüfung verwendete Operator $\Phi\}$ mit

$$\begin{aligned}
 & \left(\Phi \{ \text{ALCi}(1) \} \right)^T = \left(\frac{ | \text{ALCi}_1(1) - \text{ALCi}^*_1(1) | }{ | \sigma_{\text{ALCi}^*_1}(1) | } , \right. \\
 & \frac{ | \text{ALCi}_2(1) - \text{ALCi}^*_2(1) | }{ | \sigma_{\text{ALCi}^*_2}(1) | } , \dots , \frac{ | \text{ALCi}_k(1) - \text{ALCi}^*_k(1) | }{ | \sigma_{\text{ALCi}^*_k}(1) | } \left. \right)
 \end{aligned}$$

definiert ist, wobei der hochgestellte Buchstabe T transponierte Darstellung bedeutet.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der von der dritten Aktivität (18) für die zweite Prüfung verwendete Operator $\Phi\{\}$ mit

$$\begin{aligned}
 & \left(\Omega \{ \text{AGIi} \} \right)^T = \left(\frac{ | \text{AGIi}_1 - \text{AGIi}^*_1 | }{ | \sigma_{\text{AGIi}^*_1} | } , \right. \\
 & \frac{ | \text{AGIi}_2 - \text{AGIi}^*_2 | }{ | \sigma_{\text{AGIi}^*_2} | } , \dots , \frac{ | \text{AGIi}_k - \text{AGIi}^*_k | }{ | \sigma_{\text{AGIi}^*_k} | } \left. \right)
 \end{aligned}$$

definiert ist.

4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Aktivität (18) den globalen Flächen-Merkmalvektor AGF aus einer Anzahl (N) Zeilenvektoren AGIi nach der Formel

$$\text{AGF} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \text{AGIi} \quad \text{berechnet.}$$

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Aktivität (16) die neuen zweiten Schätzungen $\sigma_{\text{ALCi}^*}(l)_t$ näherungsweise mit

$$\sigma_{\text{ALCi}^*}(l)_t = \frac{ p \cdot \sigma_{\text{ALCi}^*}(l)_{t-1} + (\pi/2)^{1/2} \cdot | \text{ALCi}(l) - \text{ALCi}^*(l)_{t-1} | }{ p + 1 }$$

berechnet, wobei die alten Schätzungen mit t-1 indiziert sind und p ein Gewichtungsfaktor ist, für den $p \geq 0$ gilt.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Aktivität (16) die neuen vierten Schätzungen $\sigma_{\text{AGIi}^*}_t$ näherungsweise mit

$$\sigma_{\text{AGIi}^*}_t = \frac{ p \cdot \sigma_{\text{AGIi}^*}_{t-1} + (\pi/2)^{1/2} \cdot | \text{AGIi} - \text{AGIi}^*_{t-1} | }{ p + 1 }$$

berechnet, wobei p ein Gewichtungsfaktor ist und $p \geq 0$ gilt.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Klassifizierung eines Musters einer Banknote, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufnahmesystem (1) zur Erfassung der physikalischen Merkmale eine aus einer Anzahl (N) Sensoren bestehende Sensorgruppe (4) aufweist, wobei jeder Sensor von einer grösseren Anzahl (L) Bildpartien je einen reflektierten Intensitätswert der Spektralbereiche Grün, Rot und Infrarot misst.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erfassten physikalischen Merkmale zur weiteren Verarbeitung als gemessene dreidimensionale Vektoren $mci(l)$ gruppiert sind, wobei mit $i = 1$ bis N und $l = 1..L$ für die Vektoren $mci(l)$ die Definition $(mci(l))^T = (mci_1(l), mci_2(l), mci_3(l))$ gilt und wobei die Komponenten mit dem Index 1 Intensitätswerte des Spektralbereichs Grün, die Komponenten mit dem Index 2 Intensitätswerte des Spektralbereichs Rot und die Komponenten mit dem Index 3 Intensitätswerte des Spektralbereichs Infrarot enthalten.

9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorverarbeitungs-Aktivität (6) die ersten Komponenten der lokalen Merkmalvektoren $ALCi(l)$ mit $ALCi_1(l) = mci_1(l) + mci_2(l) + mci_3(l)$ die zweiten Komponenten mit

$$mci_1(l)$$

$$ALCi_2(l) = \frac{mci_1(l) + mci_2(l) + mci_3(l)}{3}$$

die dritten Komponenten mit

$$mci_2(l)$$

$$ALCi_3(l) = \frac{mci_1(l) + mci_2(l) + mci_3(l)}{3}$$

die vierten Komponenten mit

$$mci_1(l)$$

$$ALCi_4(l) = \frac{1}{L} \cdot \sum_{j=1}^L mci_j$$

und die fünften Komponenten mit

$$mci_3(l)$$

$$ALCi_5(l) = \frac{1}{L} \cdot \sum_{j=1}^L mci_j$$

berechnet.

Fig. 1

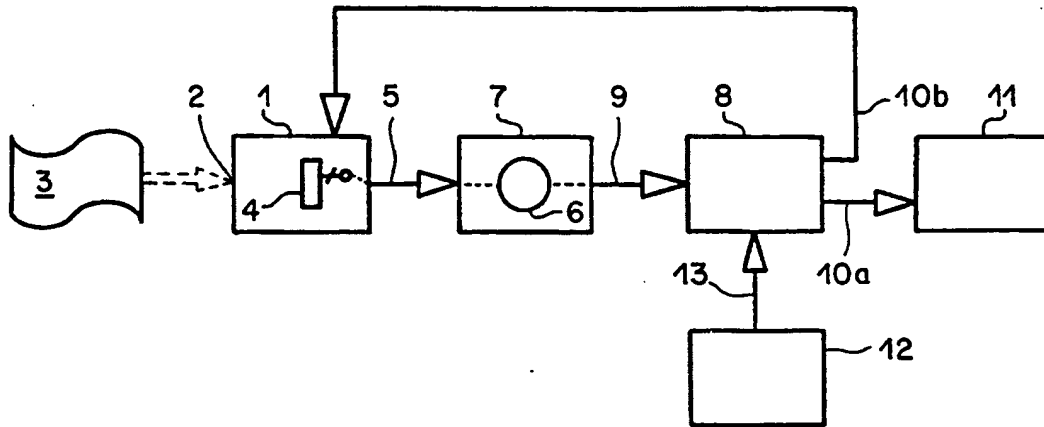


Fig. 2

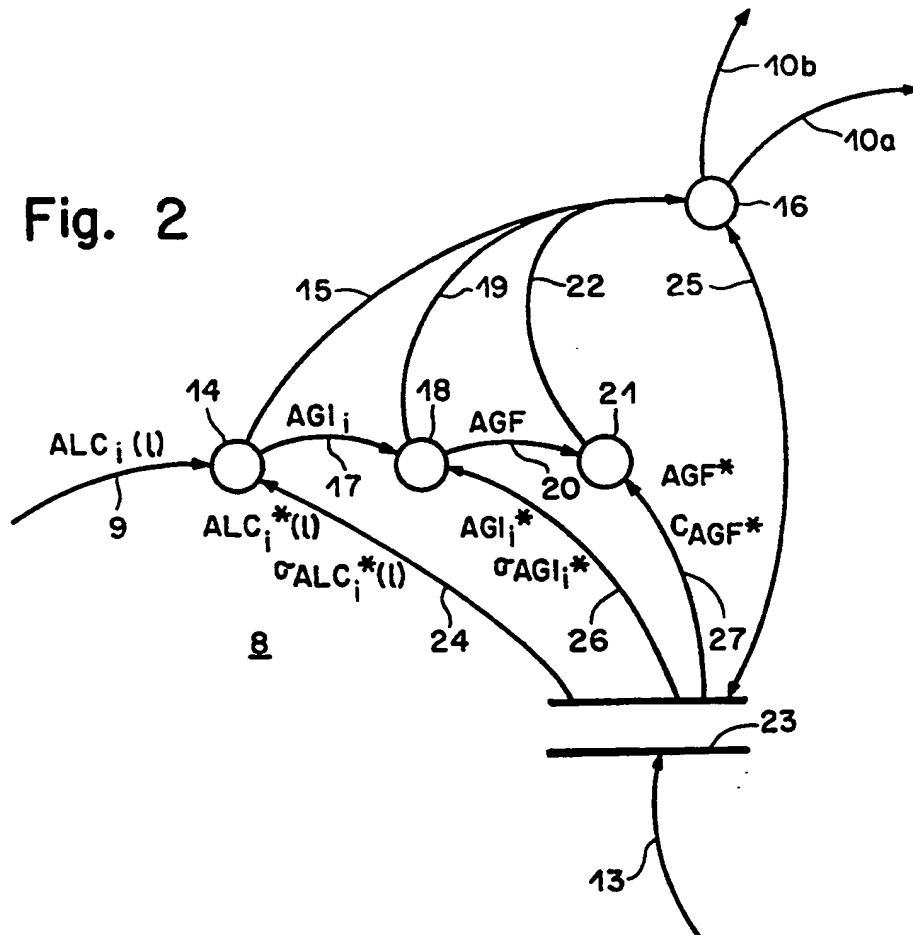


Fig. 3

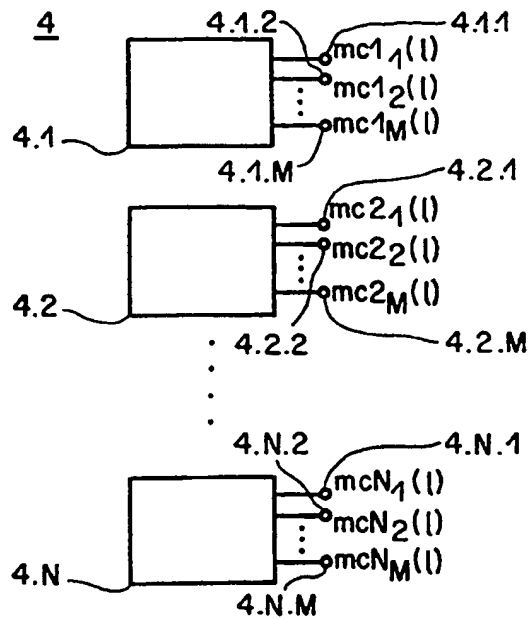


Fig. 4

